БИОНИКА ДЛЯ БИОЛОГИИ И ТЕХНИКИ

С. Ф. Манзий

(Институт зоологии АН УССР)

Наиболее характерной чертой развития биологии за последние десятилетия является все возрастающее проникновение в нее математики, физики, химии и других точных наук и возникновение на этой основе ряда новых наук: радиобиологии, космической биологии, молекулярной биологии, молекулярной генетики, биофизики, кибернетики, бионики и др. Самой молодой из этих наук является бионика. Она существует только с 1960 г.— со времени первой конференции по бионике, проходившей в США под девизом: «Живые прототипы — ключ к новой технике», т. е. использование «достижений» живой природы в технике. Правда, не все ученые придерживаются того мнения, что бионика — наука молодая. Кое-кто склонен считать ее древней, поскольку человек при изготовлении орудий труда всегда заимствовал что-нибудь у живой природы. Например, по типу хрусталика глаза была изобретена лупа — родоначальница всей оптики, весло создано по форме плавника рыб, лопата — по типу передней конечности крота, форма челнов приближается к форме тела рыб, вращение гребного винта напоминает работу хвостового плавника рыб, переплеты мостовых ферм и вышек подобны трабекулам губчатой субстанции костей и т. д. А один из основоположников бионики Уоррен Мак-Каллок (1965) вообще считает, что человек самостоятельно создал только колесо, а все остальное позаимствовал у живой природы.

Мы не разделяем мнения, что всякое копирование у живой природы является бионикой. Бионика, как и кибернетика, это наука не о внешнем копировании, а о принципах моделирования живых структур и их функций. И все же мы должны признать, что попытки моделирования принципов строения живых структур делались задолго до 1960 г. Чертежи и описание летательного аппарата, созданные Леонардо да Винчи на основании изучения строения и функции крыла птицы вполне можно считать началом моделирования этого крыла. Точно так же следует рассматривать основы аэродинамики, созданные Н. Е. Жуковским (1892) на основании изучения принципов полета птиц. Ценными для последующего развития бионики следует признать работы Н. А. Умова (1902), работы по биомеханике животных Я. И. Грдины (1910—1916) и Л. Рело (1900), исследования Н. А. Бернштейна (1947) по изучению роли нервной системы в регулировании произвольных движений человека и уровней центрально-нервных замыканий и др. Однако в этих работах мы еще не находим самого важного — в них не ставится цель создания технических устройств, работающих по принципу биологических прототипов; нет в них и научных основ моделирования,— каждый автор идет своим путем. Упомянутые работы не дают оснований утверждать, что перед биологией в то время уже стояла задача способствовать техническому прогрессу; исследования носили характер как бы любительского увлечения биомеханикой.

Как же возникла истинная бионика? Известно, что математику издавна пытались применять в биологии с целью точного анализа жизненных явлений. Но до тех пор, пока не достигли высокого уровня развития теории вероятности и относительности, математическая статистика, дифференциальные уравнения, теория информации и другие разделы, математика по-настоящему в биологию не проникала. Ее проникновение в биологию стало возможным лишь в 40-х годах нынешнего столетия, когда были обобщены достижения перечисленных разделов математики и создано стройное учение о принципах использования достижений живой природы в технике. Так появилась кибернетика — наука о математическом анализе и электронном моделировании биологических процессов связи, управления и координации для оптимализации аналогичных процессов в машинах, производственных объединениях, в планировании и автоматизации. Несмотря на скептицизм, с которым была встречена молодая наука, она за короткий срок достигла высокого уровня развития, а электронные кибернетические устройства находят сегодня самое широкое применение в различных областях производства, значительно облегчая труд человека по планированию, управлению и взаимосочетанию различных производственных процессов. Эти устройства используются уже не только для молниеносного решения сложнейших задач, а и для перевода текстов с одного языка на другой, для создания музыки, распознавания образов и др. Нельзя представить сейчас технический прогресс без кибернетики.

Однако при всей значимости успехов кибернетики созданные ею машины с самого начала страдали существенными недостатками. Таковыми являются: малая надежность этих машин, потребление ими большого количества энергии, крупные габариты машин по сравнению с габаритами их биологического прототипа — головного мозга. Если мозг человека весит менее 2 *кг,* состоит из 100 миллиардов нейронов, потребляет энергии 10—15 *вт,* работает многие годы без «ремонта» и обладает объемом памяти в 10^{13}—10^{15} ед. информации, вычислительная же машина больших размеров состоит только из десятков тысяч моделей нейронов, рассчитана на непродолжительный срок непрерывной работы, потребляет много энергии, а объем памяти ее на несколько порядков меньше — всего 10^{6}—10^{7} ед. Эти недостатки особенно ощутимы при использовании кибернетических устройств в космической технике. Избавиться от них можно лишь путем моделирования не только функционального эффекта, а и принципов строения прототипа, т. е. через бионику. И в кибернетике с самого начала зародилось направление, оформившееся со временем в самостоятельную науку — бионику. Следовательно, бионика — это дочь кибернетики. Основу ее, как и кибернетики, составляет моделирование, однако в отличие от электронного моделирования функций, осуществляемого кибернетикой, целью бионики является физическое моделирование принципов строения интересующего нас объекта, причем таким объектом является не только нервная система, а любой орган. Каждый организм буквально изобилует изумительными механизмами, химическими лабораториями и силовыми установками, которые необходимо позаимствовать для техники. Однако, если электронное моделирование функции могут осуществлять инженеры без участия биологов, то в бионических исследованиях участие биологов совершенно необходимо. Чтобы создать техническую модель какого-либо органа, нужно прежде всего изучить его строение и принципы работы. Это могут делать сегодня только биологи, причем и им тоже приходится значительно перестраивать свои исследования.

До сих пор биология была в значительной мере наукой описательной, что нисколько не мешало ей справляться с задачами познания живой природы и вооружать теоретическими основами медицину, животноводство и растениеводство. Но для моделирования необходимы не качественные, а количественные характеристики органа, подлежащего моделированию. Для их получения необходимо изучать орган на более высоком уровне точности.

На II Всесоюзной конференции по бионике, состоявшейся в Москве в конце 1965 г., было показано, что наиболее успешно развиваются исследования по бионике в тех лабораториях, где работают совместно инженеры и биологи. Поэтому на конференции подчеркивалось, что объединение усилий биологов и представителей точных наук является самой лучшей формой бионических исследований. В выступлениях указывалось, что для успешного развития работ по моделированию биологических структур и процессов в будущем уже сейчас необходимо развивать биологические исследования этих структур с применением методов точных наук. Начальным этапом любого бионического исследования должен быть морфо-функциональный анализ объекта моделирования. Участники конференции отметили как самый существенный недостаток исследований по бионике слабое участие в них биологов; среди 834 участников конференции было только 150 биологов, а докладов, прочитанных биологами, было и того меньше.

Тем не менее в развитии исследований по бионике и близких к ним направлений уже принимают участие сотрудники многих биологических лабораторий самых различных учреждений. К их числу относятся Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, лаборатория, руководимая проф. С. Е. Клейнбергом (изучение и моделирование принципов аэро- и гидродинамики у животных и изучение гидроэхолокации у китообразных); институт эволюционной физиологии АН СССР, лаборатория, которой руководит проф. Я. А. Винников (изучение и моделирование рецепторных аппаратов с целью создания универсального сенсорного датчика и изучение клеточных мембран); Институт биологии южных морей АН УССР, зав. лабораторией докт. биол. наук Ю. Г. Алеев (изучение роли формы тела водных животных в их плавательных способностях); Институт биологии водохранилищ АН СССР — лаборатория, руководимая проф. Б. К. Штегманом (изучение биомеханики и автоматики крыла птиц); кафедры ряда университетов, в частности, Московского, кафедра зоологии позвоночных, зав. кафедрой проф. Н. П. Наумов; Киевского — проф. А. Б. Кистяковский (изучение навигационных и ориентационных способностей у животных); ряд учреждений Министерства здравоохранения СССР и Академии медицинских наук, зав. лабораторией, действительный член АМН П. К. Анохин (изучение и моделирование нейрона и нервных сетей); лаборатория, которой руководил член-корр. АМН Н. А. Бернштейн (изучение процессов управления и координации произвольных движений в различных условиях и роли в этих процессах различных уровней замыкания); Институт зоологии АН УССР, лаборатория, где работают кандидаты биол. наук Л. И. Францевич и И. А. Левченко (изучение ориентации и взаимной информации у пчел), отдел эволюционной морфологии, зав. отделом доктор биол. наук С. Ф. Манзий, работающий совместно с кафедрой теории машин и механизмов Киевского Института инженеров гражданской авиации, зав. кафедрой член-корр. АН УССР С. Н. Кожевников (изучение принципов строения и функционирования конечностей млекопитающих с целью моделирования их для техники) и др.

Сейчас в нашей стране и за рубежом наметилось пять основных направлений бионических исследований:

1. Изучение и моделирование нейронов, нервных узлов и головного мозга с целью создания новых технических средств управления машинами, производственными объединениями, транспортными узлами и пр.

Наибольшее число бионических (включая и лаборатории биокибернетики) лабораторий мира занято именно этими исследованиями. И вместе с тем надо признать, что в деле физического моделирования нейрона и нервной ткани бионика стоит сейчас значительно дальше от конечной цели, чем в моделировании других органов. Все устройства, воспроизводящие в какой-то мере функции нервной системы, состоят пока из электронных моделей нейронов, не имеющих с ним ничего общего в своем строении и тем не менее сделавших и делающих переворот в жизни и деятельности человека.

2. Изучение и моделирование органов чувств с целью создания новых технических средств восприятия, проведения и переработки информации самого различного характера.

Это направление особенно важно сейчас, в период неудержимого стремления человека в космос. На первом этапе изучения других планет у человека нет иных средств получения информации о ситуации на этих планетах, кроме телеметрического сбора информации с помощью искусственных «органов чувств», заброшенных туда. Но и на Земле совершенно неисчерпаемы возможности применения моделей органов чувств: создание и использование высокочувствительных анализаторов воздуха, воды, продуктов и других веществ и материалов на наличие в них самых ничтожных примесей, изобретение приборов высокочувствительных к инфракрасным лучам, различных звуколокаторов, светоанализаторов и приборов, регистрирующих ничтожные перепады гравитационного и электромагнитного полей и механические колебания субстрата и т. д. Этому направлению бионических исследований также уделяется очень много внимания, и результаты их уже довольно ощутимы. Достаточно назвать такие приборы, как гироскоп и гиротрон (модели жужжалиц мух), используемые в космической технике для поддержания заданного курса полета снаряда, сонары (модели гидроэхолокатора дельфинов), применяемые для обнаружения подводных технических объектов, прибор «ухо медузы» (модель органа восприятия инфразвуковых волн медузы), предсказывающий шторм за 10—15 час. до его начала; «искусственный нос» (модель органа обоняния) — прибор, который в 1000 раз чувствительнее органа обоняния собаки, но рассчитан на ограниченное число запахов; модель фасеточного глаза насекомых, используемая для определения скорости полета самолета и других объектов; баллометры (модели органа теплочувствительности некоторых рептилий), приборы, регистрирующие изменения температуры на миллионные доли градуса, и т. д.

3. Изучение органов ориентации, навигации и взаимной информации у животных с целью создания технических ориентационных и навигационных приборов.

Это направление бионики весьма интересно. Ведь многие птицы и водные животные действительно обладают изумительными способностями ориентировки в пространстве и безошибочного отыскания своих сородичей и мест «назначения» при миграциях (в частности, при перелетах). Однако сами органы, с помощью которых животные мигрируют, изучены крайне неудовлетворительно, и относительно способов ориентировки мигрирующих животных в пространстве нередко существу-

ют пока только гипотезы и догадки. Иными словами, здесь главная задача состоит в изучении самих биологических основ этих способностей, и лишь потом можно будет их моделировать. На II Всесоюзной конференции по бионике проф. А. Б. Кистяковский демонстрировал солнечный компас (который, по его мнению, является моделью глаза птицы), позволяющий по солнцу определять географическое положение и направление сторон света.

4. Биомеханическое направление бионики — это изучение и использование в технике принципов локомоции животных.

При всем кажущемся совершенстве технических средств передвижения на суше, в воде и в воздухе они еще безнадежно отстают от средств передвижения, созданных живой природой. Самый современный самолет поднимает в воздух на 1 *л. с.* мощности двигателя около 10 *кг,* а многие птицы имеют в десять раз большую «грузоподъемность». Дельфины и рыбы благодаря ламинарности плавания развивают скорость движения до 100 *км/час* и более, в то время как для такой быстроты плавания механической модели их тела потребовался бы мотор, мощность которого в 10 раз превосходила бы мощность мускулатуры водоплавающего животного. Кальмар без особых усилий, используя свой реактивный «двигатель», развивает скорость плавания до 70 *км/час,* может из глубины «стартовать» с вылетом над водой на 50 *м.* Мышца работает с коэффициентом полезного действия 60%, а самый современный мотор обладает пока КПД не более 30%. Конечности диких животных изо дня в день выполняют колоссальную работу, обеспечивая животному возможность передвижения, они служат в течение многих лет без ремонта, а срок службы, например, велосипеда рассчитан на пробег нескольких тысяч километров. Особенно изумляют ученых своей долговечностью и неизносимостью суставы конечностей, ибо в машинах самыми уязвимыми являются подвижные узлы, подшипники. Личинки некоторых насекомых являются прекрасными землепроходчиками, продвигающимися вперед, уплотняя окружающую почву. Колибри, меняя «угол атаки» крыльев, способны «повисать» на одном месте, делать рывок вперед, а при надобности — давать задний лет. Пингвины, скользя грудью по снегу и отталкиваясь ногами, развивают скорость движения по бездорожью до 30 *км/час.*

Можно привести еще немало примеров изумительных локомоционных способностей животных, которым человек со своей техникой может еще позавидовать. И сегодня сотни бионических лабораторий мира работают над изучением органов локомоций различных животных с целью совершенствования существующих и создания новых подвижных машин. Уже есть первые результаты: проходят испытание шагающие танки (США), прыгающий автомобиль (Чехословакия), снежный вездеход (СССР), создана модель кожи дельфина для обшивки кораблей, совершенствуются землепроходные снаряды, уплотняющие окружающую почву, создан корабль, по форме напоминающий тело кита (Япония) и т. д.

5. Биоэнергетическое направление бионики изучает механизмы простого и быстрого превращения химической энергии корма в механическую (мышцы), электрическую (электрические рыбы), тепловую (особенно млекопитающие и птицы), световую (некоторые беспозвоночные и глубоководные рыбы) и другие виды энергии, исследует механизмы фотосинтеза и превращение одних веществ в другие в организмах с целью использования подобных механизмов в энергетической и химической промышленности.

Лаборатории, развивающие это направление бионики, заняты сейчас углубленным изучением биологических механизмов, так как они изучены крайне слабо.

Итак, бионика как наука существует с 1960 г. За истекшее время возникли тысячи различных научно-исследовательских бионических лабораторий, проведено много конференций, симпозиумов и совещаний по бионике, издано много статей, монографий, сборников и популярных брошюр, созданы сотни машин и приборов — более или менее удачных моделей различных органов животных. Одни из них проходят испытания и совершенствуются, другие широко применяются в хозяйстве и военном деле. Пусть сейчас эти машины и приборы еще несовершенны, но они знаменуют собой начало эры техники малых габаритов, высоких точностей, большой надежности, высоких коэффициентов полезного действия и адаптивных способностей. И биология призвана сыграть решающую роль в создании и развитии этой техники. Путь к этому — повышение уровня биологических исследований до уровня исследований точных наук, сочетание биологических методов исследования с математическим анализом, с применением законов физики и химии.

ЛИТЕРАТУРА

Анохин П. К. 1964. Механизмы предсказания в работе мозга и перспективы использования их в технических системах. Тез. научно-техн. конф. по бионике, М.

Берг А. Н. 1965. Бионика и ее значение для развития техники. В кн.: «Бионика». «Наука», М.

Бернштейн Н. А. 1947. О построении движений. Медгиз.

Бионика. 1965. Сб. под ред. А. И. Берга и др. «Наука», М.

Винников Я. А. 1965. Проблема моделирования универсального сенсорного датчика. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Грдина Я. И. 1910. Динамика живых организмов. Изв. Екатеринослав. высш. горн. уч-ща, 1.

Его же. 1913. Дополнение к динамике живых организмов. Изв. Екатеринослав. гор. ин-та, 2.

Его же. 1916. Заметки по динамике живых организмов. Изв. Екатеринослав. гор. ин-та, 1.

Жуковский Н. Е. 1949. О парении птиц. Собр. соч., 4, ГТТИ.

Кибернетика, мышление, жизнь. 1964. Сб. под ред. А. И. Берга и др. «Мысль», М.

Клейнненберг С. Е., Кокшайский Н. В. 1965. Современные проблемы биологической аэро- и гидродинамики. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Кожевников С. Н., Манзий С. Ф., Пряхин И. М. 1965. Некоторые задачи биомеханики в изучении органов движения млекопитающих. Тр. КИИГА, 1.

Кожевников С. Н., Манзий С. Ф., Пряхин И. М., Мельник К. П., Воронкин Н. Ф. 1965. К вопросу о надежности опорнодвигательного аппарата млекопитающих. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Кистяковский А. Б., Смогоржевский Л. А. 1965. Первоначальная дистанция ориентации у некоторых воробьиных. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Мак-Каллок, Уоррен, 1965. Подражание одних форм жизни другим формам — биомимезия. В кн. :«Проблемы бионики» перев. с англ. «Мир».

Манзий С. Ф. 1966. Эволюционная морфология и проблемы бионики. Тез. VII Всесоюзн. съезда анат., гистол. и эмбриол. Тбилиси.

Мантейфель Б. П., Якоби В. Э. 1965. Обзор некоторых данных по ориентации и навигации животных. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Наумов В. П., Симкин Г. М., Ильичев В. Д., Протасов В. Р. 1965. Средства общения у животных и их моделирование. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Проблемы бионики. 1965. Сб., перев. с англ. «Мир».

Умов Н. И. 1902. Физико-механические модели живой материи. СПб.

Францевич Л. И., Бодрягин В. И., Левченко И. А. 1965. Способы передачи информации о пространственном расположении источника корма у медоносных пчел. Тез. докл. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Штегман Б. К. 1965. Об автоматизации движений крыла птиц. Тез. II Всесоюзн. конф. по бионике. М.

Reuleaux L. 1900. Lehrbuch der Kinematik. Braunschweig.